

嘉義市第 37 屆中小學科學展覽會

作品說明書封面

科 別：生活應用科學科

組 別：國中組

作品名稱：彈力與兵兵的邂逅

－ 探討乒乓球與彈力球在不同狀況下所能彈起的最高高度

關 鍵 詞：重力位能、彈性碰撞

編 號：

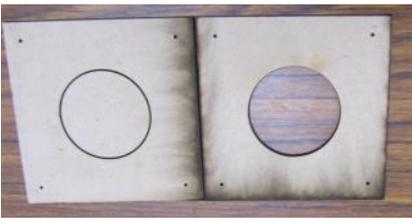
壹、動機：

還記得與玩伴們玩彈力球是童年的美好回憶，小孩們總聚在一塊，用力擲下手中的彈力球，比較誰彈的高?誰彈得遠?像是另類的比力氣大賽，力量大的勝者得意洋洋；力量小的敗者垂頭喪氣。彼此倒也玩得不亦樂乎。之前，無意間碰下桌上的彈力球及一旁的乒乓球，兩球恰巧一前一後的滾落桌面，重疊著落地。意外發現當彈力球在下，而體積較大的乒乓球在上，並保持兩者球心位於同一條鉛直線上--如此彈法竟較單獨一顆彈力球彈的要高!回想過往玩耍時的種種情形，再看方才目睹的、令人驚訝的畫面，更勾起我們想要探究的心思，於是，便著手進行以下實驗。

貳、目的：

- 一、 探討兩球距離對乒乓球彈跳高度的影響
- 二、 探討兩球離地面高度對對乒乓球彈跳高度的影響
- 三、 探討乒乓球大小對乒乓球彈跳高度的影響
- 四、 探討彈力球大小對乒乓球彈跳高度的影響
- 五、 探討不同性質地板對乒乓球彈跳高度的影響

參、 器材與設備：

		
<p>水管</p>	<p>雷切木板</p>	<p>攝影機</p>
		
<p>彈力球(大)直徑 49mm</p>	<p>彈力球(中) 直徑 32mm</p>	<p>彈力球(小) 直徑 28mm</p>
		
<p>乒乓球(大) 直徑 39mm</p>	<p>乒乓球(小) 直徑 37mm</p>	
		
<p>雷切壓克力條</p>	<p>自製球距架</p>	<p>自製實驗裝置(軌道架)</p>

肆、實驗步驟與方法：

為了使乒乓球及彈力球的球心能保持在同一鉛垂線上，不至於使彈起時過歪，我們想了幾個方法：

- (1) 在兩球中心鑽洞，繫以細線，但擔心鑽洞會改變彈力球的彈跳性質而作罷。

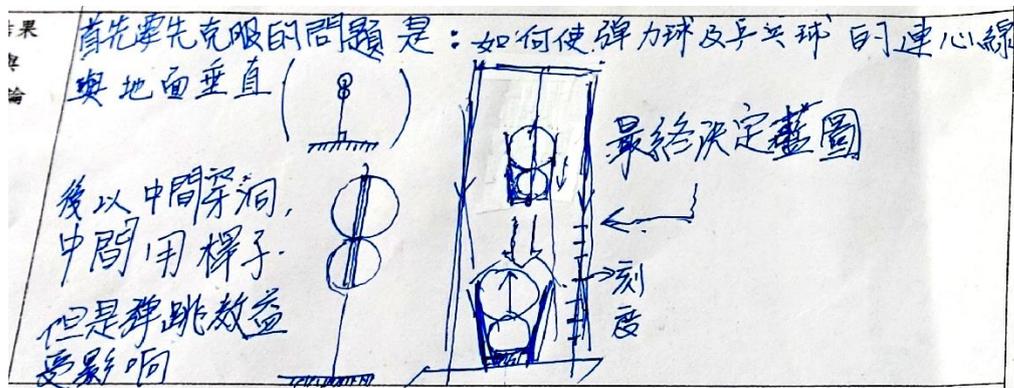


圖 1. 將彈力球與乒乓球鑽洞，以細繩串起設計圖

- (2) 在彈力球上鑽一小凹洞，乒乓球上黏上小凸點，將兩球卡住再垂直落下，但一樣會有影響彈力球與乒乓球彈跳，且沒有辦法保持兩球球心連線與地面垂直，乒乓球會跳歪。

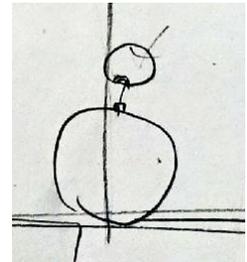


圖 2. 用凹洞與凸起結合乒乓球與彈力球

- (3) 利用水管做成軌道架，兩側開對稱的長條孔，然後放入球托架，再將彈力球放上去，疊上乒乓球後以杯子套住，使兩球球心連線與地面垂直，然後在軌道架底部放一凸柱，放開球托架，使球托假與球掉落，球撞到凸柱反彈。
- 這個設計是掉落時，球托架與軌道假會有碰撞，球沒有辦法順利掉落。

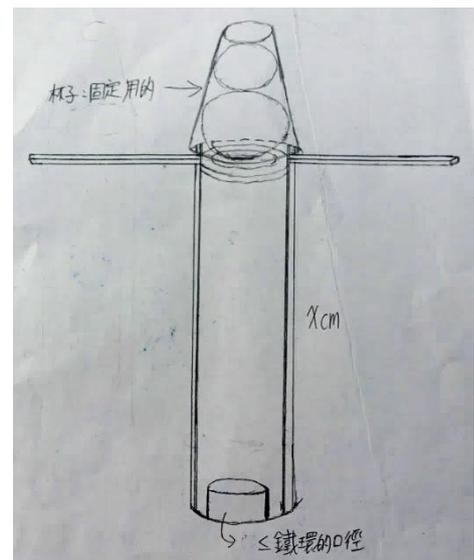


圖 3. 軌道與杯套的設計，以控制彈跳路徑

(4) 最後我們改用球套克服，利用透明膠片，捲出杯狀，使彈力球與乒乓球可以固定在杯內，然後放到軌道架中，使兩球一起掉落，並且後來實驗發現兩球距離會嚴重影響乒乓球的彈跳高度，所以我們又設計出球距架，可以控制兩球距離，來進行實驗。



圖 4. 軌道與伽球套的設計，以控制彈跳路徑

製做軌道架

我們先測量乒乓球與彈力球的直徑，數據如右表一，然後選擇管內直徑大於彈力球與乒乓球的水管，可使兩球順利落下，我們選擇的水管有 2 種，一個是內徑 50mm 的水管，一個是內徑 65mm 的水管，然後以鋸子由一端鋸開，另一端保留 10 公分不鋸，再以木板切出圓洞，套在不鋸的一端，置於地面，使水管可以垂直於地面。

表 1. 乒乓球與彈力球測量數據

	直徑(mm)	重量(g)
1. 大乒乓球	39	2.1
2. 小乒乓球	37	1.5
3. 大彈力球	49	62.9
4. 中彈力球	32	22.0
5. 小彈力球	28	13.9



圖 5. 製作軌道架

製做球套

為了使兩球球心連線垂直地面，所以我們用透明膠片捲成錐狀，然後將彈力球與乒乓球放入，調整錐狀的角度，使兩球恰好固定，然後用以膠帶固定，再用剪刀剪去上下多餘部份。



圖 6. 製作球套

嘗試實驗

我們以做好的軌道架與球套，進行實驗，將彈力球放入球套，再把乒乓球放入球套，再將球套放入軌道架中，調整高度，先以手壓緊軌道架，讓軌道架夾住球套，然後在三公尺外架好攝影機，拍攝球掉落後反彈的情形。然後再以播放軟體，截取出我們要的畫面，再以 Geogebra 軟體讀入畫面，分析數據，為了辨識畫面，我們在軌道架上每格 10cm 貼上膠帶，方便讀取數據。

我們觀察到幾個現象，第一個是反彈高度不高，而且反彈時兩個球還是在一起沒有分開，檢查後發現是球套太緊，反彈時乒乓球沒有辦法脫離球套，拉著彈力球一起彈起，所以沒有辦法彈高，我們調整球套鬆緊度後就改善這個現象。

另一一個奇怪的現象，有時候乒乓球第一次落地彈起來後，高度不高，

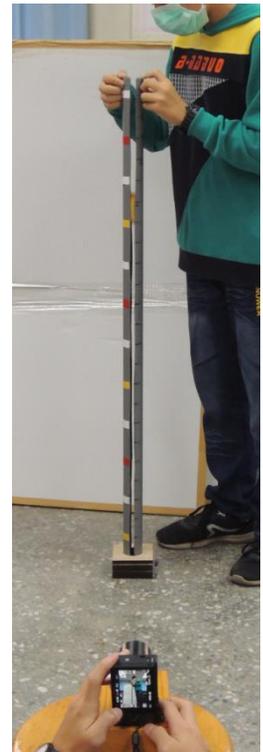


圖 7. 進行實驗

但第二次落地後，反而彈得比第一次高很多，如下方的連續截圖。

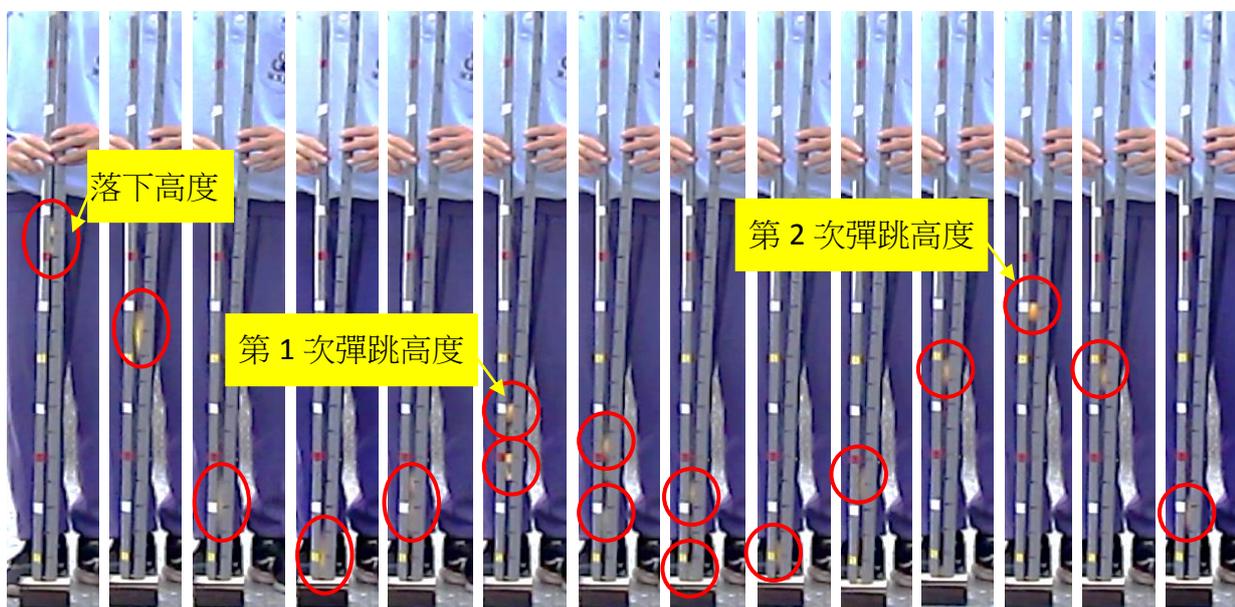


圖 8. 乒乓球第 2 次彈跳高度比第 1 次高

我們猜測這個現象可能是因為兩球一起落下，當彈力球撞擊地面時，會產生變形，球心雖然減速了，但仍向下運動，此時乒乓球撞擊彈力球，因兩球運動方向相同，所以碰撞力道較小，乒乓球反彈高度低，就好像棒球的觸擊短打，為了不讓棒球飛出太遠，球棒碰觸球的瞬間要向後縮，讓撞擊力道變小，如下圖所示。

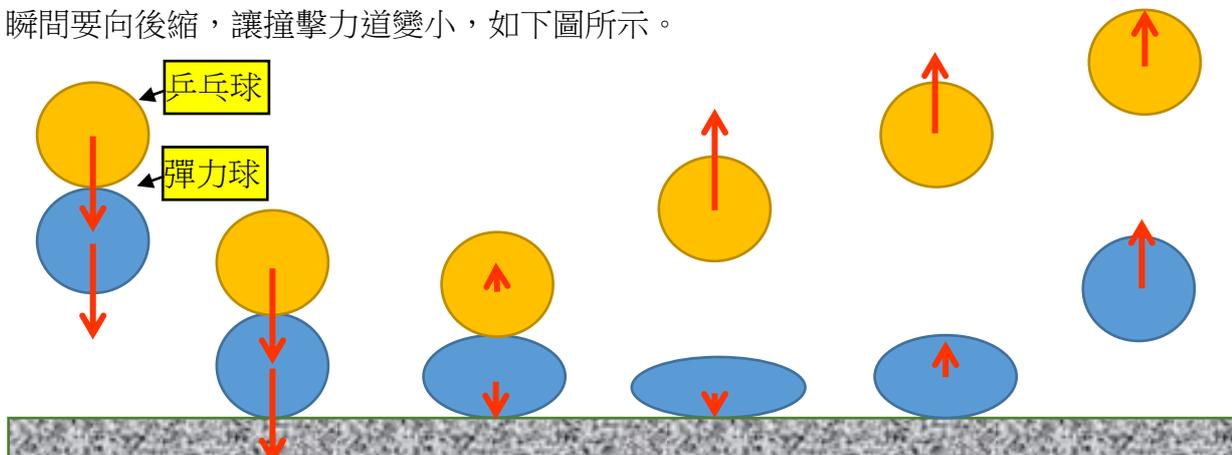


圖 9. 乒乓球追撞彈力球的示意圖

第二次落下時，因乒乓球與彈力球已經有一個間隔，彈力球先撞擊地面反彈，乒乓球向下撞擊往上彈起的彈力球，此時撞擊力道大，所以質量較小的乒乓球就彈飛比較高，如下圖所示，就好像棒球的長打，球棒與球反方向撞擊，讓球飛出很遠。

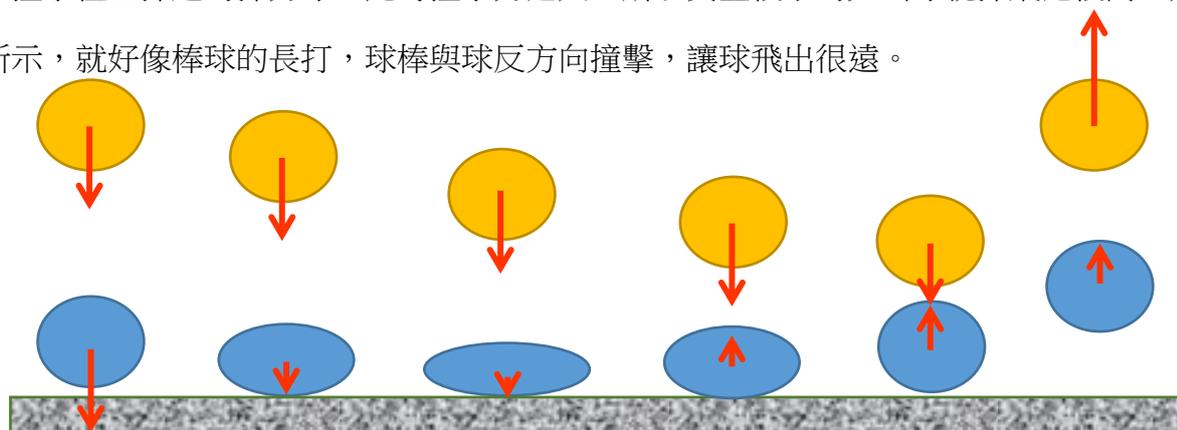


圖 10. 乒乓球與彈力球對撞的示意圖

所以我們想要探討，球落下時的兩球間隔會對乒乓球彈起有什麼影響，因此要做出可以控制兩球距離的裝置，我們把它稱為球距架。

製做球距架

我們設計用壓克力板來製作球距架，先裁出一 55 公分 x2 公分的長條板，每格 5 公分挖一個長條洞，可以放入一個 10 公分長 x0.8 公分寬 x0.3 公分的長條，然後用膠帶和橡皮筋固定，藉由改變長條插孔的位置，可以控制兩球距離。

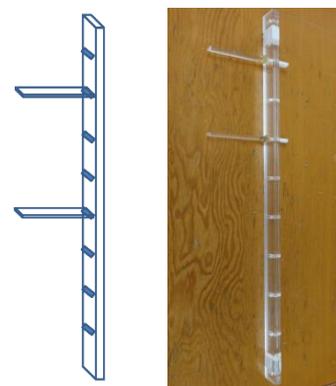


圖 11. 球距架設計與實物

實驗一、探討兩球距離對乒乓球彈跳高度的影響

我們固定彈力球底部離地面高度為 90cm，上方用大乒乓球，下方用中彈力球，利用球套使兩球接觸並固定在軌道架上，然後鬆開軌道架，使兩球掉落，並以攝影機攝影後，讀取檔案，擷取乒乓球反彈後到最高點時的圖，再利用 geogebra 軟體讀出球反彈後的高度，重複進行 10 次再記錄之。



圖 12. 進行實驗

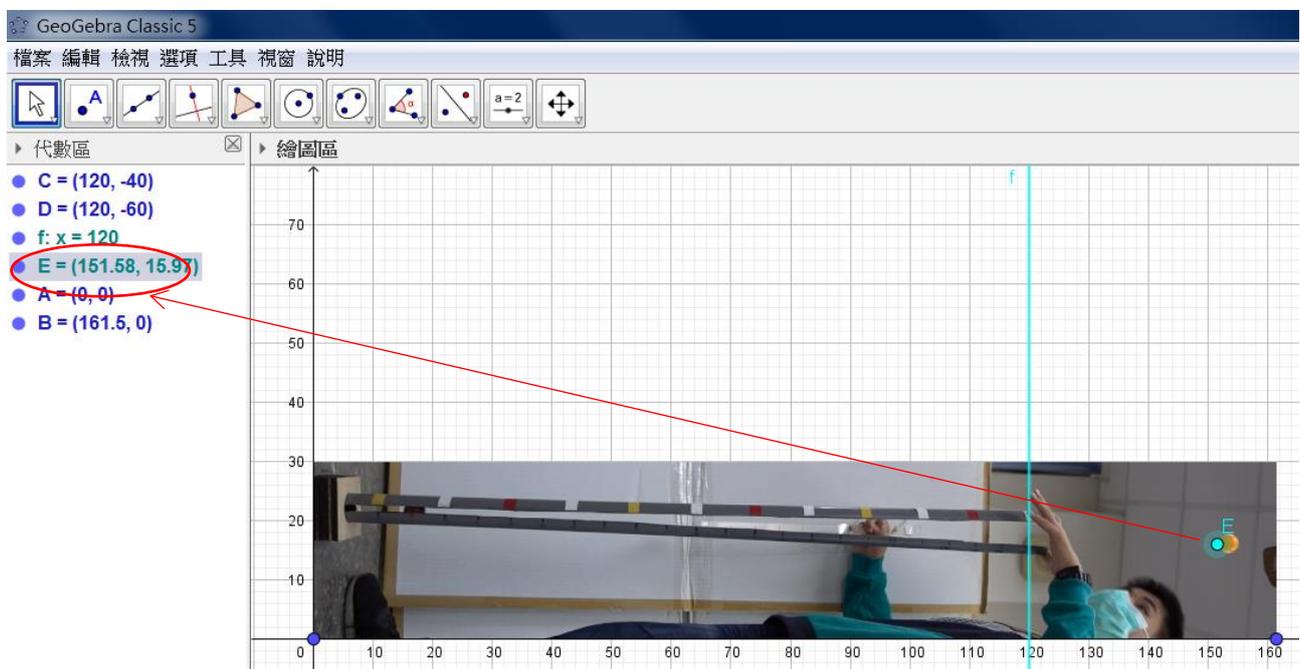


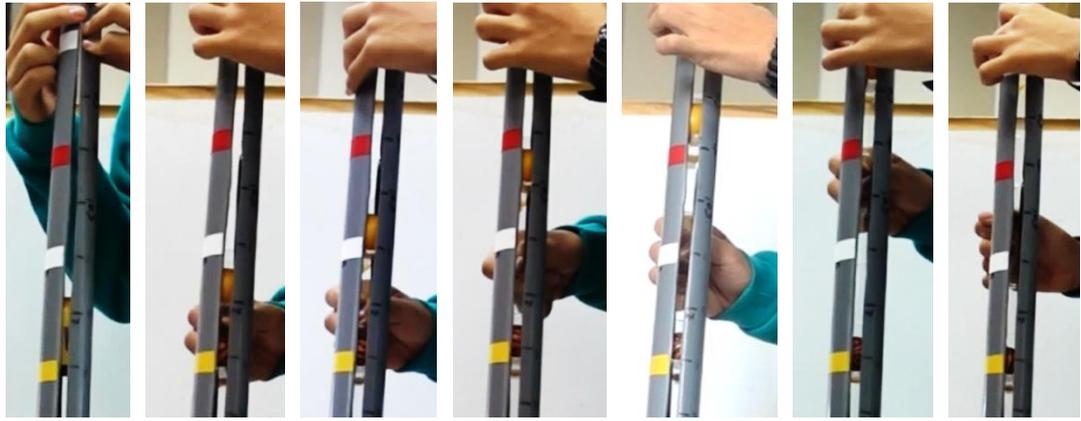
圖 13. 利用 geogebra 軟體讀入乒乓球球反彈到最高點的圖檔並測量球高度

然後利用球距架改變兩球間隔，使兩球球心距離分別為 5cm、10cm、15cm、20cm、25cm、30cm，重複上述步驟。

我們定義的兩球距離是指乒乓球底部到彈力球的底部距離，兩球間隔指的是乒乓球底部到彈力球頂端的距離，兩球距離比兩球間隔多了一個彈力球的直徑，如圖 14 所示。



圖 14. 利用球距架改變兩球之間距離，進行實驗



兩球距離(cm)	3.6	5	10	15	20	25	30
兩球間隔(cm)	0	1.8	6.8	11.8	16.8	21.8	26.8

結果：

因為我們定義的兩球間隔是兩球之間的距離，所以使用球套時，兩球間隔為 0cm，使用球距架時，如果擋片相距 5cm，兩球間隔為 5cm-下球直徑(3.2cm)我們將實驗結果整理如下表，並繪製成下圖：

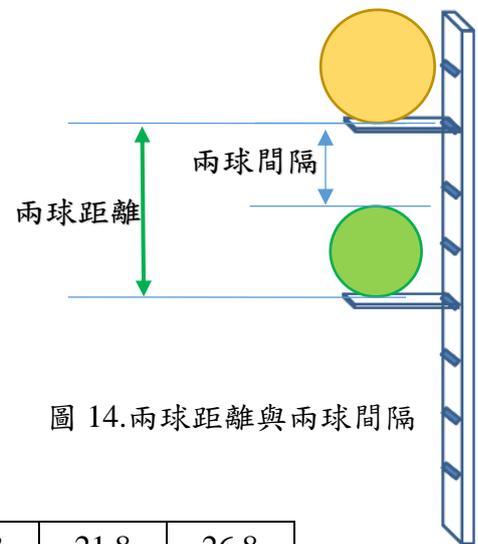


圖 14.兩球距離與兩球間隔

表 2. 兩球間隔不同時的第一次彈跳高度

兩球間隔(cm)		0	1.8	6.8	11.8	16.8	21.8	26.8
彈跳高度(cm)	1	48	142	159	135	157	148	113
	2	43	154	156	140	165	134	126
	3	42	139	154	141	141	173	118
	4	42	148	178	161	153	144	133
	5	38	163	158	163	158	148	97
	6	49	135	176	154	159	145	154
	7	46	132	177	163	152	152	161
	8	50	132	159	161	158	143	130
	9	52	153	176	158	146	136	96
	10	47	140	161	170	164	--	121
平均		45.7	143.8	165.4	154.6	155.3	147.0	124.9
標準差		4.3	10.4	10.0	11.8	7.5	11.3	21.2

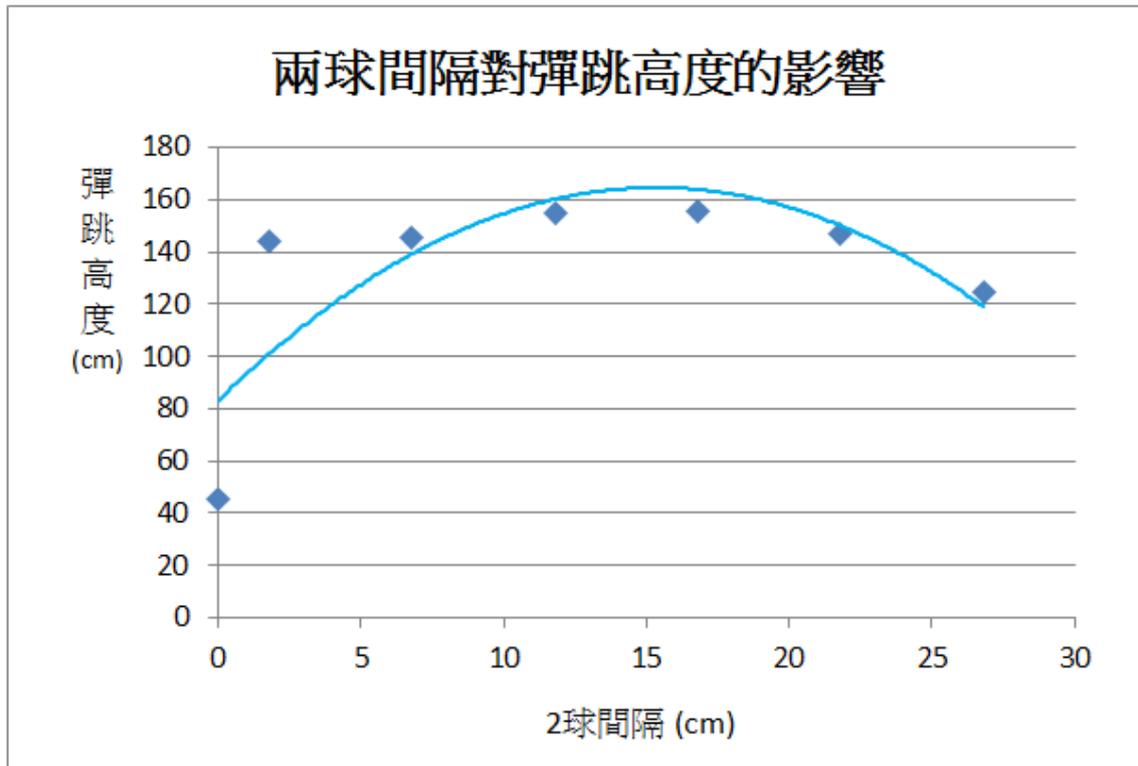


圖 15. 兩球間隔對彈跳高度的影響

討論：

由以上結果我們可以知道，兩球間隔為 0 時，乒乓球第一次彈跳高度明顯很低，兩球之間只要相隔 1.8 公分以上，乒乓球彈跳高度大幅上升，間隔大約在 15 公分附近，彈跳最高，可是間隔太遠時，反而反彈高度下降，我們推測是因為乒乓球與彈力球撞擊時，彈力球高度已經太高，此時彈力球速度變慢太多，因此撞擊力道下降，所以反彈高度下降。

因此我們可以推論，如果彈力球剛彈起，完全離開地板瞬間，速度最快，乒乓球如果在此位置撞擊彈力球，因乒乓球落下距離最大，速度也最快，此時撞擊力道會最強，乒乓球反彈高度會最高。如果過早撞擊，此時彈力球向上的速度還沒有最大，甚至還在向下變形中，撞擊力道會較小，乒乓球彈不高。如果太晚撞擊，彈力球上升太高，動能已部份轉換成本身的重力位能，速度變慢了才撞到乒乓球，乒乓球反彈高度也會降低。

實驗二、探討兩球離地面高度對對乒乓球彈跳高度的影響

接下來我們想要探討兩球如果由不同高度落下，會對乒乓球反彈高度有甚麼影響，所以我們固定彈力球底部離地面高度為 70cm，上方用小乒乓球，下方用中彈力球，利用球距架使兩球間隔 10cm，然後抽出球距架並鬆開軌道架，使兩球掉落，並以攝影機攝影後，讀取檔案，擷取乒乓球反彈後到最高點時的圖，再利用 geogebra 軟體讀出球反彈後的高度，重複進行 10 次再記錄之。

然後改變彈力球底部離地面高度分別為 80cm、90cm、100cm、110cm，重複上述步驟各 10 次。



彈力球底部離地高度(cm)： 70 80 90 100 110

結果：

我們利用 Geogebra 軟體將球的高度讀出如下圖 16，並將實驗結果整理如下表二，再利用 EXCEL 繪製成圖。

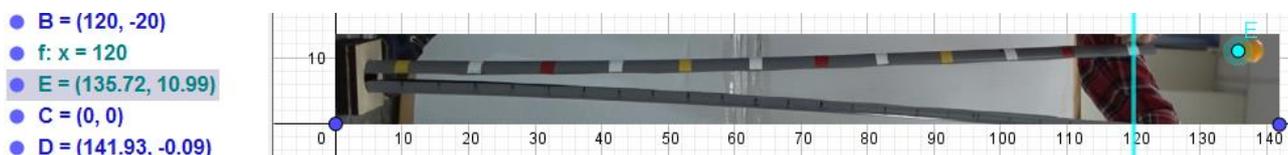


圖 16. 70cm 高度落下，第 3 次實驗，乒乓球反彈到最高點時的截圖與測量結果

表 3. 不同高度落下時，乒乓球球第一次反彈高度

高度(cm)	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均	標準差
70	131	139	136	134	167	162	147	155	147	141	145.9	12.1
80	153	163	169	176	157	154	156	172	160	167	162.7	8.0
90	159	156	154	178	158	176	177	159	176	161	165.4	10.0
100	162	167	184	205	187	174	215	228	178	197	189.7	21.3

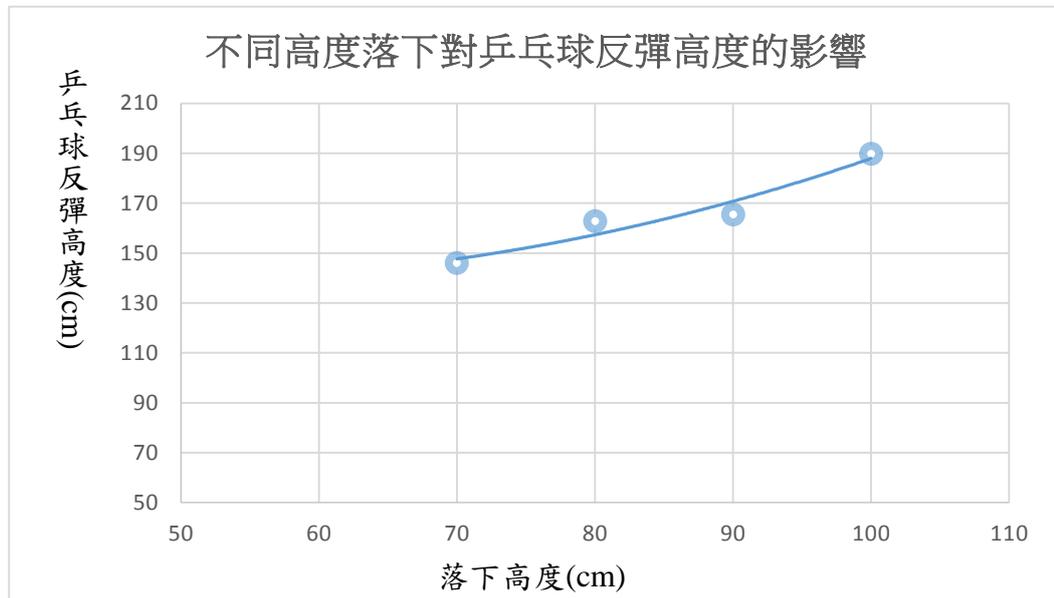


圖 17. 不同高度落下，乒乓球反彈到最高點的高度

討論：

由以上結果我們發現高度越高時，反彈的高度也越高。最高可以超過一開始落下的高度兩倍以上，也就是說如果由 100 公分高落下，乒乓球可以彈起來超過 200 公分。

實驗三、探討乒乓球大小對乒乓球彈跳高度的影響

接下來我們想要知道改變乒乓球的大小，會對乒乓球反彈高度有甚麼影響，所以我們固定彈力球底部離地面高度為 90cm，上方用小乒乓球，下方用中彈力球，利用球距架使兩球間隔 10cm，然後抽出球距架並鬆開軌道架，使兩球掉落，並以攝影機攝影後，讀取檔案，擷取乒乓球反彈後到最高點時的圖，再利用 geogebra 軟體讀出球反彈後的高度，重複進行 10 次再記錄之。

然後改用大乒乓球，重複上述步驟。

結果：

我們利用 Geogebra 軟體將球的高度讀出，並將實驗結果整理如下表二，再利用 EXCEL 繪製成圖。

表 4. 不同大小乒乓球反彈高度

大小球	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均	標準差
大球	127	162	136	157	154	136	130	126	150	149	142.7	13.2
小球	159	156	154	178	158	176	177	159	176	161	165.4	10.0

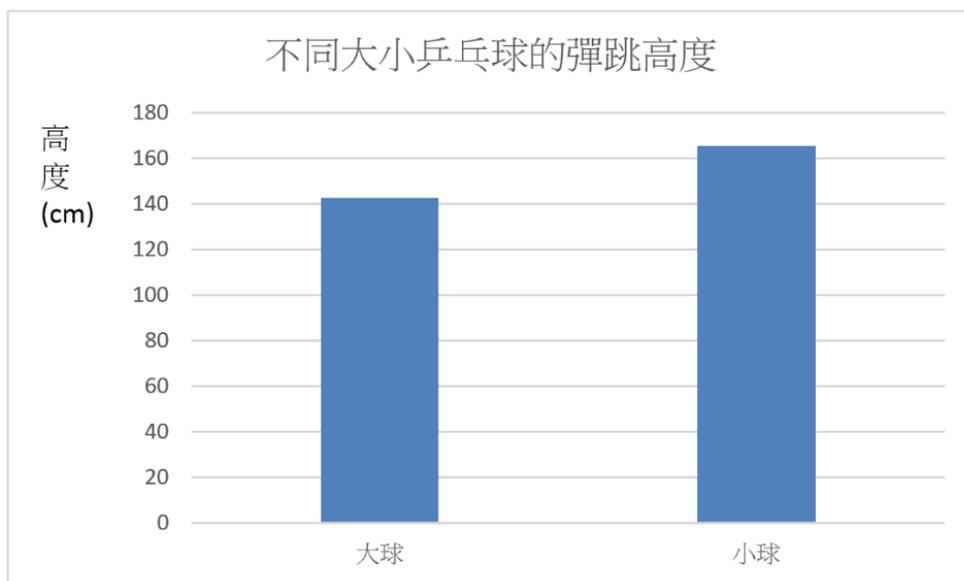


圖 18. 不同大小乒乓球反彈高度

討論：

由以上數據我們可以看出小乒乓球的反彈高度大於大乒乓球，我們猜測可能是因為小球質量較小，只有 1.5g，大約為大球質量(2.1g)的 70%，受到彈力球相同的撞擊力，可得到比較大的加速度，所以飛得比較高。

實驗四、探討彈力球大小對乒乓球彈跳高度的影響

接下來我們想要知道如果用不同大小的彈力球，會對乒乓球反彈高度有甚麼影響，所以我們固定彈力球底部離地面高度為 90cm，上方用小乒乓球，下方用中彈力球，利用球距架使兩球間隔 10cm，然後抽出球距架並鬆開軌道架，使兩球掉落，並以攝影機攝影後，讀取檔案，擷取乒乓球反彈後到最高點時的圖，再利用 geogebra 軟體讀出球反彈後的高度，重複進行 10 次再記錄之。

然後分別改用中彈力球與大彈力球，重複上述步驟。當用到大彈力球時，因為軌道架的內徑(50mm)只比大彈力球直徑(49mm)大 1mm，在彈力球落下與反彈過程經常會因碰到軌道架而使乒乓球彈跳失敗，所以我們又找了內徑 65mm 的水管，重新製作大軌道架。



圖 19. 大軌道架

結果：

我們利用 Geogebra 軟體將球的高度讀出如下圖 20，並將實驗結果整理如下表二，再用 EXCEL 繪製成圖。



圖 20. 大彈力球，第 10 次實驗，乒乓球反彈到最高點時的截圖與測量結果

表 5、不同大小彈力球造成乒乓球反彈的高度

彈力球	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均	標準差
大	194	220	177	176	19	189	191	226	217	232	184.1	61.4
中	159	156	154	178	158	176	177	159	176	161	165.4	10.0
小	92	158	89	138	143	125	143	112	122	137	125.9	22.6

不同大小彈力球時的乒乓球彈跳高度

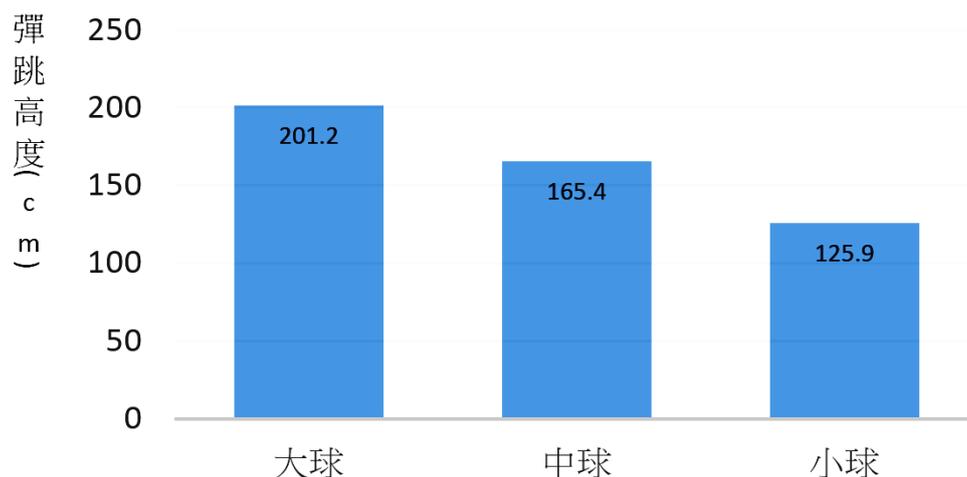


圖 21. 不同大小彈力球時，乒乓球的平均反彈高度

討論：

由以上數據與圖形我們可以看出彈力球越大，乒乓球反彈的高度也越高，我們推論可能是因為大彈力球在撞擊乒乓球有較大的撞擊力，所以乒乓球飛得比較高。

另外我們也觀察到，小彈力球與乒乓球的實驗中，有時乒乓球反彈很高，有時很低，這因為在碰撞時，兩球球心比較不能保持在同一直線，容易發生彈跳時側向彈跳，然後撞擊軌道架，影響實驗結果。

實驗五、探討不同性質地板對乒乓球彈跳高度的影響

接下來我們想要知道如果改變地板材質，會對乒乓球反彈高度有甚麼影響，所以我們固定彈力球底部離地面高度為 90cm，上方用大乒乓球，下方用中彈力球，利用球距架使兩球間隔 10cm，然後抽出球距架並鬆開軌道架，使兩球掉落，並以攝影機攝影後，讀取檔案，擷取乒乓球反彈後到最高點時的圖，再利用 geogebra 軟體讀出球反彈後的高度，重複進行 10 次再記錄之。

然後分別在地板上鋪上玻璃、桌墊和止滑墊，重複上述步驟各 10 次。



水泥地板



玻璃地板



塑膠桌墊地板



四層止滑墊地板

結果：

我們利用 Geogebra 軟體將球的高度讀出，並將實驗結果整理如下表二，再利用 EXCEL 繪製成圖。

表 6. 不同地板材質時的乒乓球彈跳高度

地板	水泥地板	玻璃	桌墊	止滑墊 4 層
第 1 次	159	169	164	85
第 2 次	156	152	163	124
第 3 次	154	143	144	118
第 4 次	178	134	172	99
第 5 次	158	126	180	85
第 6 次	176	153	182	118
第 7 次	177	153	147	107
第 8 次	159	129	153	112
第 9 次	176	166	156	88
第 10 次	161	139	160	90
平均	165.4	146.4	162.1	102.6
標準差	10.0	14.7	12.9	15.1

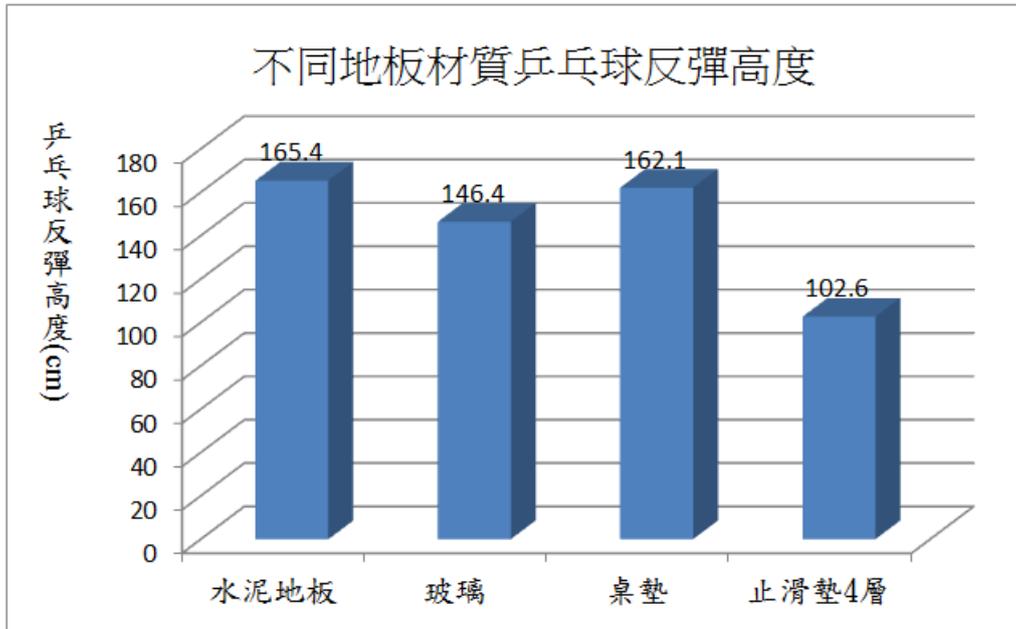


圖 22. 不同地板材質，乒乓球的平均反彈高度

討論：

由以上結果我們發現硬的地板，反彈高度較高，如果軟的地板吸收撞擊力道與能量，反彈較低。

伍、 結論：

綜合以上的實驗，我們得到幾個結論：

1. 乒乓球與彈力球一起落下時，如果靠在一起，乒乓球的彈跳高度不會太高，要相隔一段距離，才會使乒乓球與彈力球撞擊時力道最大，反彈最高，但如果相隔太遠，也會使碰撞力道變小，彈跳高度降低。
2. 以我們的實驗條件範圍，乒乓球與彈力球一起落下時，乒乓球的最高反彈高度可以達到原始落下高度的 2 倍以上。
3. 乒乓球越輕，乒乓球的反彈高度會越高。
4. 彈力球越重，乒乓球的反彈高度會越高。
5. 不同地板材質也會影響反彈高度，越硬的材質，乒乓球的反彈高度會越高，地板材質軟，乒乓球的反彈高度比較低。

陸、 參考文獻：

- 一. 郭重吉等編著(民國 107 年)，國中自然與生活科技三下 3-2 位能與動能，南一出版。
- 二. 郭重吉等編著(民國 107 年)，國中自然與生活科技三下第二章力與運動，南一出版。